

Utvärdering av dynamiska prestanda för kortfiberkompositer

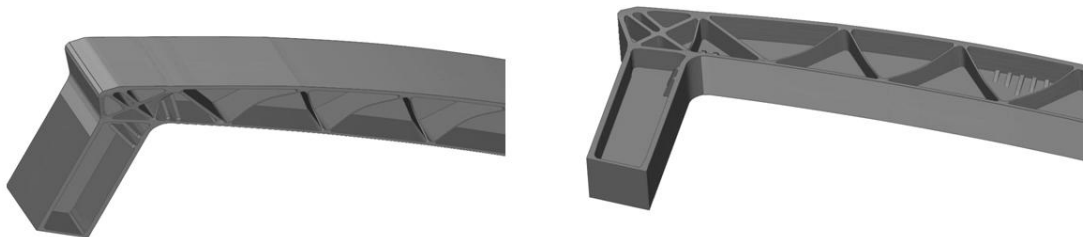
Fungerande virtuella verktyg krävs för att utveckla morgondagens produkter i ett allt snabbare utvecklingstempo. I detta "haverianalysprojekt" har vi utnyttjat prototypmaterial och simuleringsmodeller från ett tidigare projekt för att öka kunskaperna kring möjligheter och problemen med att använda pressade kortfiberarmerade polymererprodukter och specifikt Polyamid som lastbärare och hur denna applikation kan simuleras. Det visade sig att det tidigare projektet "havererade" pga brister i tillverkningen av prototyperna och specifikt glasfiberinnehållet, som var för lågt. Vidare så är polyamid olämpligt i applikationer där kraftnivån måste vara kontrollerbar (ett stötfångarsystem), dvs vare sig för hög eller låg, pga polyamidens stora variationer i egenskaper med temperatur och fuktinnehåll. Vid normal luftfuktighet ligger glasomvandlingstemperaturen nära rumstemperaturen, vilket gör produktens egenskaper svårhanterliga. De tjocka väggarna och den långsamma fyllhastigheten i applikationen ger en relativt isotrop fiberfördelning, vilket gör att en standard isotrop materialmodell med ett isotropt brottvillkor fungerar tillfredsställande.

Inom programmet FFI - Fordonsutveckling

Syfte

Ett främre stötfångarbalkskoncept till Saab 9-3 Cabriolet har under åren 2006-2008 utvecklats inom ramen för ett Gröna Bilen 2 projekt (VINNOVA Dnr 2006-01489). Projektdeltagare var Ad Manus Materialteknik, Epsilon, Henkel, Outokumpu Stainless, Polytec Composites Sweden, Saab Automobile och Semcon. Målet var att utveckla ett stötfångarbalkskoncept med 50% lägre vikt än det existerande stålkonceptet men med bibehållen prisbild.

För att klara vikt- och kostnadskrav utvecklades ett hybridkoncept bestående av glasfiberförstärkt polyamid i kombination med höghållfast stål, se Figur 1. Anledning till valet av polyamid, istället för t.ex. polypropen som är ett billigare matrismaterial, var att polyamid kortvarigt klarar 180°C och konceptet kan därmed monteras innan elektrolytbehandling av chassi och kaross.



Figur 1. Hybridkoncept med stålplåtar limmade på fram- och baksida av en kompositbalk.

Konceptet utvecklades och optimerades med virtuella metoder, vilket är standard i dagens utvecklingsarbete, och uppfyllde både vikts och kostnadskrav. Baserat på dessa resultat så tillverkades prototypbalkar som sedan testades mot de aktuella lastfallen. Det visade sig då att de fysikaliska balkarna hade väsentligt lägre hållfasthet än vad simuleringarna visat. Analys av simuleringsmodell och hårdvara gav inte några omedelbara svar på vad denna skillnad härstammade från.

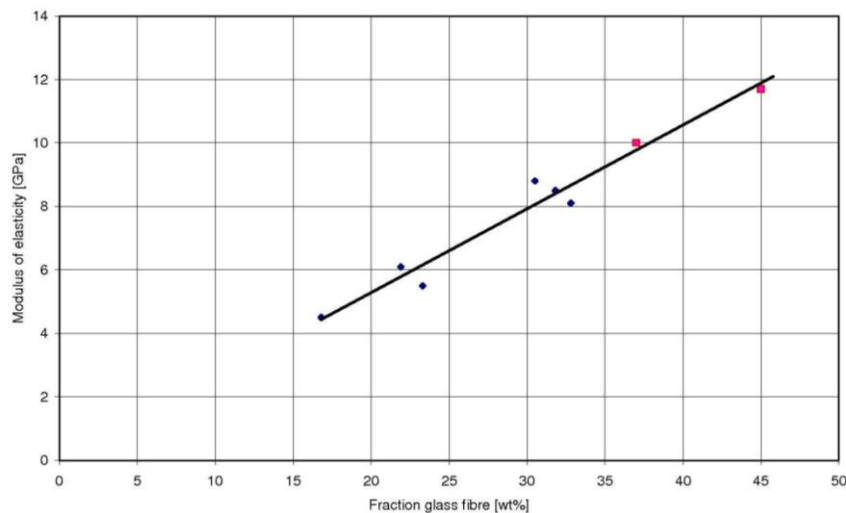
För att undvika att två års intensivt utvecklingsarbete avslutas med ett antal frågetecken så har detta FFI projekt initierats, där såväl det fysiska materialet som simuleringsmodellen kommer att

analyseras och utvärderas och förhoppningen är att projektet skall resultera i svar på vad som måste justeras/förbättras för att möjliggöra användning av konceptet i framtida bilmodeller. Vidare är det viktigt att vidareutveckla simuleringsmetoderna för att virtuellt kunna förutsäga dynamisk prestanda av framtida kortfiberförstärkta strukturer.

Resultat

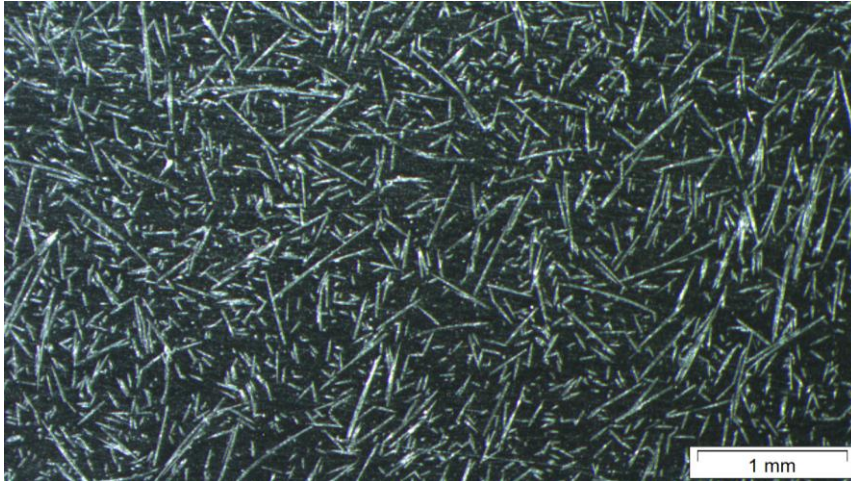
Denna rapport innehåller en kort sammanfattning av resultaten i projektet. För en detaljerad redogörelse hänvisas till Grauers [2010].

Den enskilt största förklaringen till skillnaden mellan de fysiska testerna och simuleringsresultaten i det tidigare projektet berodde på skillnad i materialegenskaper. Materialegenskaperna som prototypbalkarna hade låg under de egenskaper som var efterfrågade och som använts i simuleringsmodellerna vid optimeringsarbetet. Vidare analys av materialet visade att glasfiberhalten var betydligt lägre än förväntat. I prototyp tillverkningen skulle balkar med två olika fiberhalter, 37% samt 45%, tillverkas. Det verkliga utfallet i de testade balkarna varierade mellan 16% och 32%, vilket kan ses som blåa punkter i Figur 2. Om glasfiberhalten varit enligt specifikation så hade E-modulen varit ca 10-12 GPa, se magenta punkter i Figur 2, vilket stämmer bra med de 10 GPa som användes under optimering av balken.



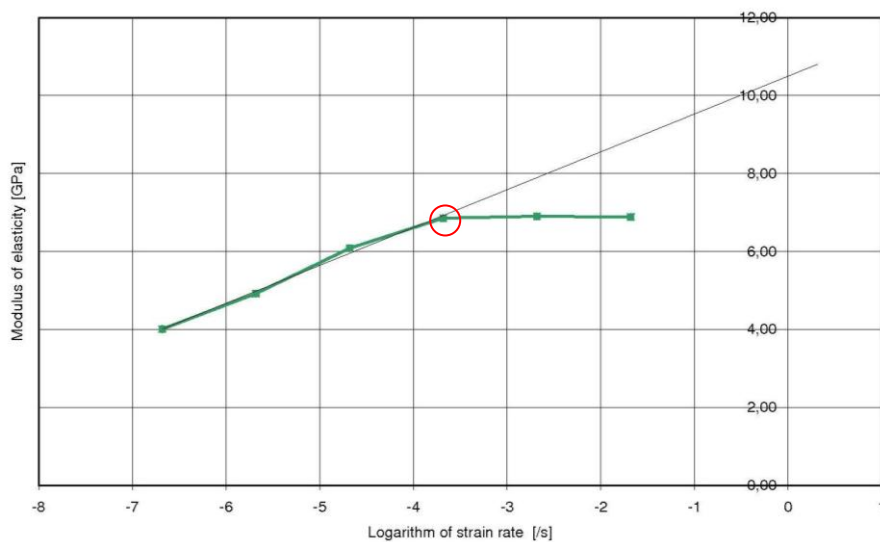
Figur 2. Samband mellan E-modul och glasfiberhalt i testade balkar.

Med kännedom om den verkliga glasfiberhalten och andra mekaniska egenskaper som modul och brottspänning så kunde varje balk analyseras var för sig. Genom att använda en enkel bilinjär materialmodell med isotropt hårdnande så kunde tillfredsställande korrelation erhållas för varje prov. Antagandet om isotropi har i viss mån verifierats inom projektet genom att polera olika delar av balken och studera fiberfördelningen, se exempel i Figur 3. Dessa studier har visat på en ytterst liten orienteringseffekt. Detta stämmer också väl med litteraturen om parallell dras med formfyllnadsanalyser. Där kan man se att för tjockväggiga strukturer och där smältan flyter långsamt, båda parametrar som gäller för de pressade balkarna, så fås en stor isotropi i materialet.

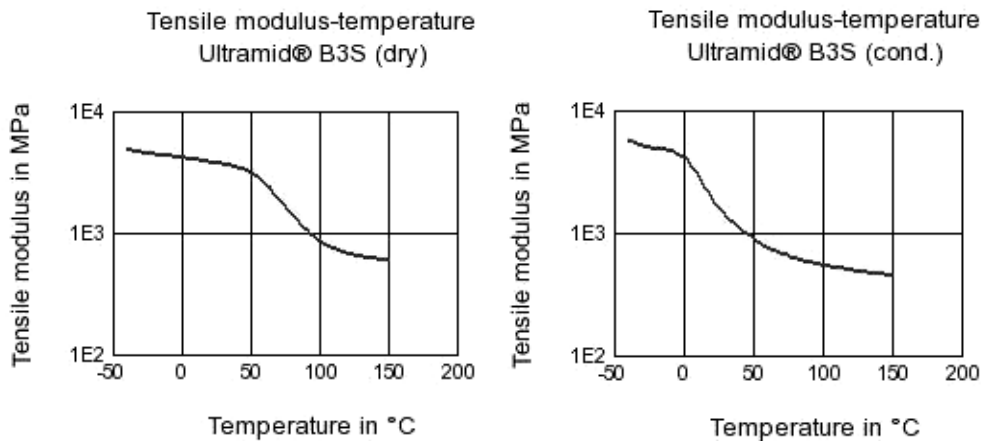


Figur 3. Fiberfördelning i del av balk (Ad-Manus)

Baserat på det enda dynamiska prov som gjordes i projektet så är det rimligt att tro att balken hårdnar ca 20-30% jämfört med kvasistatiska försök. I detta projekt fanns inte medel till att utföra materialtest vid höga töjningshastigheter. Med den testutrustning som fanns tillgänglig så testades materialet i olika töjningshastigheter från 0.001 till 100 mm/min, se Figur 4. De två snabbaste testerna har vissa osäkerheter i mätningarna, vilket gör att den horisontella trenden är lite osäker. Den röda cirkeln markerar den hastighet, 1mm/min, som används som standardhastighet vid testning av mekaniska egenskaper. Den brytning som syns i kurvan vid den röda cirkeln tyder på en fasomvandling i baspolymeren. I Figur 5 ses temperaturvariationen av E-modulen för torrt respektive konditionerat PA6 (den aktuella kvalitén). För torrt material så ligger fasomvandlingen strax över 50°C medan för konditionerat material så ligger den på strax över 0°C. Det är således inte orimligt att anta att fasomvandlingen ligger kring rumstemperatur för ett provobjekt i jämvikt med luftfuktigheten, som i Figur 4.



Figur 4. E-modulens variation med töjningshastighet (balk med 22% GF)



Figur 5. Modulvariation med temperatur för torr respektive konditionerat material.

Den största utmaningen med den virtuella utvecklingen är att förutsäga brott. Ett enkelt brottvillkor som har en fysikalisk koppling, speciellt för oarmerade plaster, är en kritisk töjning, motsvarande den töjning då crazing uppkommer. Kritisk töjning varierar lite med glasfiberinnehåll, men ligger vanligtvis i nivån 2-2.6%. I simuleringarna användes maximal principal töjning som töjningsmått för utvärdering. De områden där brotten startade i de verkliga balkarna var de områden som uppvisade störst principal töjning i beräkningsmodellen. Dock, de töjningsnivåer som simuleringens modell visade vid tidpunkt för brott i den verkliga balken var generellt lägre än motsvarande töjning från materialtestning. Det skall noteras att brott i balken startade från en knutpunkt och materialtesterna gjordes på mer ”ostört” material. Det är troligt att dessa knutpunkter har mer störningar från tillverkningen, vilket skulle kunna ge en lägre kritisk töjning.

Genomförande

För att besvara frågan varför den virtuella modellen inte stämde med de fysiska prototyperna så har komplexiteten hos det verifierande provet brutits ned och okända parametrar adderats en efter en. Allt som allt testades sju kompletta balkar i olika försöksuppställningar på Saab och för alla dessa balkar gjordes i efterhand ett stort antal materialtester för att ge de specifika materialegenskaperna för varje enskild balk. Första försöksuppställningen för komplett balk kan ses i Figur 6, där en av prototypbalkarna testas i en kvasistatisk uppställning med krocksbummet och förstärkningsplåtarna bortmonterade och med väldefinierade (stumma) randvillkor. Baserat på resultatet från detta test utfördes sedan ytterligare sex balktester i modifierade försöksuppställningar, t ex annan form på impaktorn, dynamisk last, pålimmade förstärkningsplåtar och excentrisk last. Alla dessa försöksuppställningar modellerades sedan i datormiljön och simulerades.



Figur 6. Första försöksuppställningen.

VINNOVA Dnr: 2009-04827
Johan Iraeus, Epsilon UC Väst

Projekteffekter

Fiberarmerad polyamid är mycket vanlig polymer i komponenter inom vitt skilda områden som fordon, telekom, livsmedel, transport, där hög styrka och styvhet önskas till ett rimligt pris. I vissa sammanhang, t ex i ett stötfångarsystem, är det viktigt att kunna kontrollera de fysiska egenskaperna (styvhet och styrka) så att de vare sig blir för höga eller för låga. Polyamid har egenskapen att dess fysiska parametrar påverkas högst väsentligt av fuktinnehåll och tillsammans med en viss temperaturvarians så påverkar detta de fysiska egenskaperna så väsentligt att det är svårt att kontrollera ett makroskopiskt beteende för en lastbärare som skall fungera i normal klimatpåverkan.

Deltagande parter och kontaktperson

Johan Iraeus, Senior CAE Engineer, Projektledare
Epsilon UC Väst
Johan.iraeus@epsilon.nu
031-744 91 00

Fredrik Svensson, Team Leader R&D
Saab Automobile
Fredrik.svensson@saabautomobile.com
0520-85 000

Anders Sjögren, Professor
Ad Manus Materialteknik
Anders@ad-manus.se
031-474710

Publikationer och resultatspridning

Grauers, L., *"Failure Analysis of a short fibre composite bumper beam"*, Master Thesis 2010:52, Department of applied mechanics, Chalmers University of Technology, Sweden, 2010.